

(11)Publication number : 10-259470

(43)Date of publication of application : 29.09.1998

(51)Int.Cl.

C23C 8/22
C21D 9/32
C22C 38/00
F16H 55/06
// C22C 38/22
C22C 38/28

(21)Application number : 09-085789

(71)Applicant : AICHI STEEL WORKS LTD
TOYOTA MOTOR CORP

(22)Date of filing : 19.03.1997

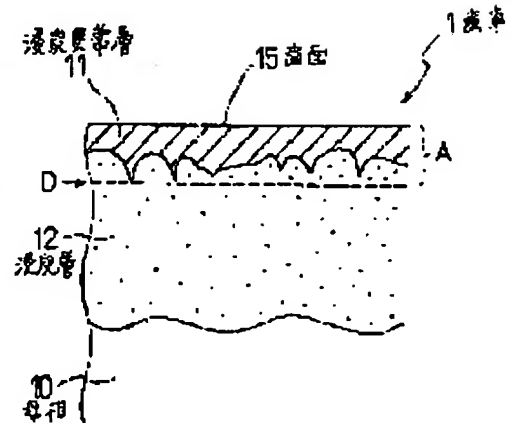
(72)Inventor : KASAMATSU CHIHIRO
SUMITA ISAO
MATSUDA TAKESHI
YASUDA SHIGERU
KONDO MASAACKI

(54) GEAR EXCELLENT IN PITTING RESISTANCE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To produce a gear capable of producing at a low cost and excellent in pitting resistance and to provide a method for producing the same.

SOLUTION: This gear is obtd. by forming a case hardened steel into a gear shape and thereafter executing carburizing treatment. The case hardened steel has a compsn. contg., by weight, 0.10 to 0.30% C, 0.50 to 1.50% Si, 0.30 to 1.00% Mn, 0.50 to 2.00% Cr and $\leq 0.50\%$ Mo and satisfying $1.5 \leq 3 \times \text{Si}(\%) - \text{Mn}(\%) + \text{Cr}(\%) / 4 + \text{Mo}(\%)$. The gear 1 after the carburizing treatment has a carburizing layer 12 in which the concn. of C is regulated to be $\geq 0.65\%$, and the amt. of retained austenite is regulated to be $\leq 25\%$, and moreover, a carburizing abnormal layer 11 as the external layer thereof. The maximum depth D of the carburizing abnormal layer 11 is regulated to be 5 to 40 μm , and the area occupied by the carburizing abnormal layer 11 in the cross-section from the position of the maximum depth to the surface 15 is regulated to be $\geq 70\%$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.07.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-259470

(43)公開日 平成10年(1998)9月29日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

FI

C 2 3 C 8/22

C 2 3 C 8/22

C 2 1 D 9/32

C 2 1 D 9/32

A

C 2 2 C 38/00

3 0 1

C 2 2 C 38/00

3 0 1 N

F 1 6 H 55/06

F 1 6 H 55/06

// C 2 2 C 38/22

C 2 2 C 38/22

審査請求 未請求 請求項の数6 FD (全11頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平9-85789

(22)出願日

平成9年(1997)3月19日

(71)出願人 000116655

愛知製鋼株式会社

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72)発明者 笠松 千尋

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地 愛知製
鋼株式会社内

(72)発明者 住田 庸

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地 愛知製
鋼株式会社内

(74)代理人 弁理士 高橋 祥泰

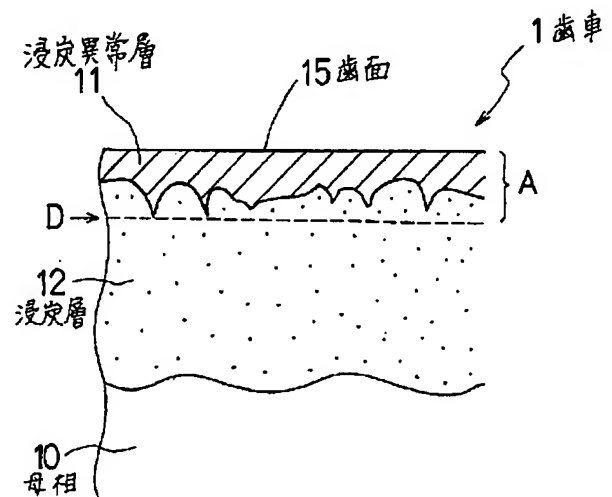
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 耐ピッチング性に優れる歯車及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 低コストで製造することができ、かつ、耐ピッチング性に優れた歯車及びその製造方法を提供すること。

【解決手段】 肌焼鋼を歯車形状に成形後、浸炭処理して得られる歯車。肌焼鋼は、C:0.10~0.30%, Si:0.50~1.50%, Mn:0.30~1.00%, Cr:0.50~2.00%, Mo:0.50%以下を含有し、 $1.5 \leq 3 \times \text{Si}(\%) - \text{Mn}(\%) + \text{Cr}(\%) / 4 + \text{Mo}(\%)$ を満足する。浸炭処理後の歯車は、C濃度が0.65%以上、残留オーステナイト量が25%以下の浸炭層12を有していると共に、その外層には浸炭異常層11を有している。浸炭異常層11の最大深さDは5~40μmであって、最大深さ位置から表面までの断面における浸炭異常層11の占める面積は70%以上である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 肌焼鋼を歯車形状に成形後、浸炭処理して得られる歯車において、上記肌焼鋼は、重量比にて、
 $C:0.10\sim0.30\%$ 、 $Si:0.50\sim1.50\%$ 、 $Mn:0.30\sim1.00\%$ 、 $Cr:0.50\sim2.00\%$ 、 $Mo:0.50\%$ 以下を含有し、かつ、
 $1.5\leq 3\times Si(\%) - Mn(\%) + Cr(\%) / 4 + Mo(\%)$

を満足し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる組成よりなり、かつ、浸炭処理後の歯車は、C濃度が0.65%以上で、かつ、残留オーステナイト量が25%以下の浸炭層を有していると共に、該浸炭層の外層には不完全焼入れ組織よりなる浸炭異常層を有しており、かつ、該浸炭異常層の最大深さは5~40 μm であって、かつ、該最大深さ位置から表面までの断面における上記浸炭異常層の占める面積は70%以上であることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車。

【請求項2】 請求項1において、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、 $Al:0.020\sim0.060\%$ 、 $N:0.0080\sim0.0200\%$ を含有していることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車。

【請求項3】 請求項1又は2において、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、 $Ti:0.20\%$ 以下、 $Nb:0.20\%$ 以下、 $V:0.30\%$ 以下のうちから、1種または2種以上を含有していることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車。

【請求項4】 重量比にて、 $C:0.10\sim0.30\%$ 、 $Si:0.50\sim1.50\%$ 、 $Mn:0.30\sim1.00\%$ 、 $Cr:0.50\sim2.00\%$ 、 $Mo:0.50\%$ 以下を含有し、かつ、
 $1.5\leq 3\times Si(\%) - Mn(\%) + Cr(\%) / 4 + Mo(\%)$

を満足し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる組成の肌焼鋼を用い、該肌焼鋼を歯車形状に成形し、次いで、浸炭処理を行って、C濃度が0.65%以上で、かつ、残留オーステナイト量が25%以下の浸炭層を形成すると共に、該浸炭層の外層には不完全焼入れ組織よりなる浸炭異常層を形成し、かつ、該浸炭異常層の最大深さは5~40 μm とすると共に、該最大深さ位置から表面までの断面における上記浸炭異常層の占める面積は70%以上とすることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車の製造方法。

【請求項5】 請求項4において、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、 $Al:0.020\sim0.060\%$ 、 $N:0.0080\sim0.0200\%$ を含有していることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車の製造方法。

【請求項6】 請求項4又は5において、上記肌焼鋼は、上記組成に加えさらに、 $Ti:0.20\%$ 以下、 $Nb:0.20\%$ 以下、 $V:0.30\%$ 以下のうちから、

1種または2種以上を含有していることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】本発明は、自動車、建設車両および建設機器などにおいて広く利用される歯車、特に耐ビッチング性に優れた歯車、及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来技術】自動車、建設車両および建設機器を取り巻く環境は、省エネルギー化や一層の性能向上が社会的に要請されており、益々、車体の軽量化やエンジン出力の増大への取り組みが進められている。このため、自動車や建設車両・機器に使用される歯車、特に、駆動系伝達部に使用されている歯車の使用環境は、一層過酷になっており、優れた歯元疲労強度や耐ビッチング性を備えた歯車が要求されている。

【0003】従来の歯車は、これを作製する歯車用鋼として、クロム鋼であるJIS-SCr420鋼、あるいは、クロムモリブデン鋼であるJIS-SCM420鋼などの肌焼鋼を用いていた。そして、これらの肌焼鋼を歯車形状に成形した後、浸炭・焼入れ・焼戻し（以下、浸炭処理という）を施して、いわゆる浸炭歯車となしていた。

【0004】

【解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の歯車においては、次の問題がある。即ち、近年、自動車や建設車両・建設機器に要求されている車体の軽量化やエンジンの高出力要求が益々強くなっている。そのため、従来鋼を従来の基準で浸炭処理しただけの浸炭歯車では、これらの要求を満たすことができない状態になりつつある。

【0005】これに対し、強度を向上させた浸炭歯車用鋼については、多数の提案がなされており、また、ショットピーニング処理など製造方法に関する提案も多数なされている。そして、これらの提案によって、特に、歯元強度に関しては飛躍的な向上を示してきた。

【0006】しかし、歯元強度の向上に対して、歯面強度の向上はそれほど大きくない。このため、歯車の破損モードは、歯元疲労から歯面疲労すなわちビッチング破壊へと変遷した。特に、高面圧および高速回転で使用される歯車は、その環境に対応しきれず、耐ビッチング性が不足するという問題を生じている。

【0007】このような耐ビッチング性不足に対しては、鋼中酸素量を低減したり、微量元素を添加することによる介在物の形態制御や、浸炭異常層生成元素を低減することによる浸炭異常層の生成を抑制する手法、あるいは焼戻し軟化抵抗性を付与させた歯車用浸炭用鋼が、種々提案されている。

【0008】例えば、特開平1-52467号公報には、非金属介在物の形状を規定する試みが示されてい

る。しかし、このような提案は、製鋼工程において高度な処理を必要とするため、製造コストを上昇させ、最終的には鋼材のコストを上げることになり、コスト低減を主張するユーザのニーズには合わなくなってきた。

【0009】また、特開平2-85343号公報には、Si添加量を低減することにより浸炭異常層の発生を抑制し、歯面強度（耐ビッチング性）を向上させる提案が示されている。これに類似した提案は、他にも多数見られる。しかしながら、本開発者らが行った詳細な調査・研究によると、浸炭異常層を抑制する方法では、優れた耐ビッチング性が得られないばかりか、個々の歯車におけるビッチング寿命のばらつきがかえって助長されることがわかった。

【0010】本発明は、かかる従来の問題に鑑みてなされたもので、低コストで製造することができ、かつ、耐ビッチング性に優れた歯車及びその製造方法を提供しようとするものである。

【0011】

【課題の解決手段】請求項1の発明は、肌焼鋼を歯車形状に成形後、浸炭処理して得られる歯車において、上記肌焼鋼は、重量比にて、C：0.10～0.30%、Si：0.50～1.50%、Mn：0.30～1.00%、Cr：0.50～2.00%、Mo：0.50%以下を含有し、かつ、

$$1.5 \leq 3 \times \text{Si} (\%) - \text{Mn} (\%) + \text{Cr} (\%) / 4 + \text{Mo} (\%)$$

を満足し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる組成よりなり、かつ、浸炭処理後の歯車は、C濃度が0.65%以上で、かつ、残留オーステナイト量が25%以下の浸炭層を有していると共に、該浸炭層の外層には不完全焼入れ組織よりなる浸炭異常層を有しており、かつ、該浸炭異常層の最大深さは5～40μmであって、かつ、該最大深さ位置から表面までの断面における上記浸炭異常層の占める面積は70%以上であることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車にある。

【0012】本発明において注目すべきことは、上記特定の組成の肌焼鋼を用い、かつ、浸炭層のC濃度及び残留オーステナイト量が上記特定の範囲にあり、さらに浸炭異常層の最大深さ及びその占める面積が上記特定の範囲にあることである。そして、最も重要な点は、上記不完全焼入れ組織よりなる浸炭異常層を上記特定深さだけ、積極的に設けたことである。

【0013】上記浸炭異常層とは、上記のごとく不完全焼入れ組織よりなる層である。不完全焼入れ組織とは、一連の浸炭処理における焼入れ時に発生したトルースタイトあるいはベイナイトよりなる組織である。この浸炭異常層は、処理品の断面を鏡面仕上げした後、ナイタール等の腐食液で腐食すると、黒く腐食されることで、その形態を容易に観察することが可能である。また、この浸炭異常層は、次のように生成する。

【0014】即ち、例えばガス浸炭処理の場合、浸炭雰囲気中にはある程度の酸素が含まれている。この酸素が鋼の表面から進入すると、結晶粒界近傍の素地に含まれている（固溶している）Si、Cr、Mn、Ni、Moなどのうち、SiおよびCr、Mnは、結晶粒界を拡散してきた酸素と結びつき酸化物を形成する。このため、酸化物が形成された付近では焼入れ性が低下する。それ故、焼入れ時にマルテンサイトが生成されず、トルースタイトあるいはベイナイトが生成する。このトルースタイトあるいはベイナイトよりなる不完全焼入れ組織の層が浸炭異常層である。

【0015】この浸炭異常層は歯車の最表面に設けられるが、その最大深さは上記のごとく5～40μmとし、さらに該最大深さ位置から表面までの断面における上記浸炭異常層の占める面積（以下、占有面積率という）が70%以上とする。この浸炭異常層は、図1に示すごとく、通常、深さにばらつきをもって形成される。そのため、本発明においては、浸炭異常層の厚みを最大深さによって定義すると共に、深さの凹凸の度合いを上記浸炭異常層の占有面積率によって定義した。

【0016】上記浸炭異常層の最大深さが5μm未満の場合には、後述する初期なじみ性の効果が十分に発揮されないという問題がある。一方、40μmを超える場合には、浸炭異常層の摩耗による摩耗量が大きすぎて歯車の歯当たりが悪化し、運転中のノイズが大きくなり、かえって歯面に作用する応力分布が悪くなるという問題がある。

【0017】また、上記の最大深さ位置から表面までの間における浸炭異常層の占める面積が70%未満の場合には、浸炭異常層の深さのばらつきが非常に大きくなる。そのため、後述する浸炭異常層の摩耗後においても、軟質の不完全焼入れ組織が浸炭層表面にくさび状に多数残存することとなる。それ故、これを起点とする亀裂が発生しやすいという問題がある。

【0018】一方、浸炭異常層の上記占有面積率の上限は、理想的には100%であることが好ましい。即ち、上記浸炭異常層は、その占有面積率が高ければ高いほど深さの凹凸が少なくなり、均一な層となる。そのため、浸炭異常層の摩耗後においては、歯車表面に高硬度の浸炭層が露出し、その後の耐ビッチング性を向上させることができる。

【0019】次に、上記浸炭異常層の下層に位置する浸炭層は、上記のごとく、C（炭素）濃度が0.65%以上で、かつ、残留オーステナイト量が25%以下とする。C濃度が0.65%未満の場合には、浸炭焼入れによって得られるマルテンサイト組織の硬度があまり高くないという問題がある。ただし、C濃度の上限は、粒界にセメンタイトが生成し、疲労強度や耐ビッチング性を低下させるおそれがあるため、1.2%とすることが好ましい。また、浸炭層における残留オーステナイト

量が25%を超える場合には、浸炭層の硬度を十分に高めることができないという問題がある。

【0020】次に、本発明の歯車の素材としては、上記特定の組成からなる肌焼鋼を用いる。以下に、各化学成分範囲の限定理由を説明する。

【0021】C: 0.10~0.30%,

浸炭焼入処理、焼戻し処理を行った歯車部品に要求される強度を十分に満たすため、すなわち、浸炭歯車部品の内部硬さHv200~500を得るためには、0.10%以上のCを含有する必要がある。しかし、0.30%を超えて含有させると内部の靱性が劣化し、歯車の強度を低下させ、さらには被削性の低下や冷間鍛造性を悪化させるため、上限を0.30%とした。

【0022】Si: 0.50~1.50%,

浸炭処理時、浸炭層のSiは、浸炭雰囲気中の酸素と反応して酸化物を形成する。このため被処理品の表層付近は焼入性が低下し、いわゆる浸炭異常層を形成する。すなわち、Siは、浸炭異常層の形成に重要な影響を及ぼす元素であり、かつ、マルテンサイト組織の焼戻し軟化抵抗性を高める元素でもある。本発明においては、所望の形態の浸炭異常層を得るため、および、焼戻し軟化抵抗性を高めるために、Siを0.50%を超えて含有させる必要がある。しかし、1.50%を超えて含有させると、上記の浸炭異常層が得られないばかりか、冷間鍛造性、被削性、靱性を低下させるため、上限を1.50%とした。

【0023】Mn: 0.30~1.00%,

Mnは、焼入性向上に顕著な効果を有する元素であり、歯車の内部まで強度を確保するのに必要な硬さ(Hv200~500)を保証するためには、0.30%以上のMnを含有する必要がある。さらに、Mnも浸炭異常層を生成する元素であるため、その添加量は浸炭異常層の形態を左右する。このため、歯車に必要な浸炭異常層を得るためには、1.00%を超えてはならない。

【0024】Cr: 0.50~2.00%,

Crは、焼入性を向上させる元素であり、浸炭焼入れ後、上記の内部硬さを得るためには0.30%以上含有させる必要がある。一方、2.00%を超えて含有させると、著しく冷間鍛造性や被削性を悪化させるため上限を2.00%とした。

【0025】Mo: 0.50%以下、

Moは、焼入性および靱性を向上させるとともに、浸炭処理後の結晶粒を微細化する効果を有する。また、浸炭異常層を抑制する効果があり、Siが有する浸炭異常層の生成効果と併用することにより、所望の形態の浸炭異常層を得ることができる。この元素は、多量に添加すると、所望の浸炭異常層が得られないだけでなく、コストを上昇させ、更には、冷間鍛造性・被削性を悪化させる。そのため、0.50%を上限とした。なお、上記効果を発揮させるため、下限値は0.10%とすることが

好ましい。

【0026】次に、上記肌焼鋼において化学成分を規制するところの下記の関係式について説明する。化学成分を規制する関係式、 $3 \times Si(\%) - Mn(\%) + Cr(\%) / 4 + Mo(\%)$ は、マルテンサイトの焼戻し抵抗性を規制するパラメータである。即ち、歯車の歯面は、摩擦による発熱により200~500℃の環境にさらされ、表面が焼戻される。その結果、歯面の硬度の低下が大きい場合、つまり上記焼戻し抵抗性が低い場合には、ピッチング破壊の要因となる。

【0027】上記関係式において、その値が1.5以上の場合には、マルテンサイトの焼戻し抵抗性が向上し、歯車の使用中、歯面におけるマルテンサイトの硬さの低下をHv100以下に抑えることができ、歯面硬度の面から耐ピッチング性を向上させることができる。なお、上記関係式の値の上限値は、素材硬さの上昇による加工性(被削性)の悪化や合金元素の増量によるコスト上昇の理由により3.0であることが好ましい。

【0028】次に、本発明における作用につき説明する。本発明の歯車は、上記のごとく、特定のC濃度及び残留オーステナイトを有する浸炭層の外層に、さらに上記特定量の浸炭異常層を設けてある。そのため、本発明の歯車は、実使用の段階において優れた初期なじみ性を発揮し、優れた耐ピッチング性を発揮する。

【0029】即ち、浸炭歯車においては、浸炭処理後に研磨などを行わない場合は、歯面の形状がある程度の誤差(ひずみ)を含むことは避けられない。また、個々の歯車は言うまでもなく、1つの歯車の中でも歯毎に形状が微妙に違っている。この誤差(ひずみ)は、歯面に加わる接触圧力分布に大きく影響を及ぼす。その結果、従来の歯車のかみ合わせ駆動時において歯面に生じる最大の接触圧力は極度に高い値となり、負荷容量の限界値に達していることもしばしばである。これらは、歯車強度はもちろんのこと、特に面圧の影響が支配的な要因であるピッチング寿命を大きく左右する。

【0030】この点において、本発明の歯車は、上記高硬度の浸炭層の外層に上記浸炭異常層を上記特定厚みだけ有している。そのため、歯面に存在する誤差の悪影響は、装置に組み込まれた歯車のなじみ運転により、大幅に緩和することができる。即ち、浸炭異常層は、不完全焼入れ組織よりなる軟質な組織である。そのため摩擦し易い特徴を持つ。この性質が、歯車の初期なじみ性を大きく向上させる。具体的には、歯車を実際にかみ合わせ駆動させることにより、歯面に生じている不均一な応力分布を緩和すべく浸炭異常層が摩耗し、歯面の形状が自己修正される。

【0031】そして、本発明における浸炭異常層の厚みは5~40μmである。そのため、この浸炭異常層は上記の初期なじみによって十分に除去される。また、浸炭異常層が除去された歯面においては、その下層の浸炭層

が表面に露出した状態となる。この浸炭層は、上記のごとくC濃度が0.65%以上のマルテンサイト組織よりなり、しかも含有する残留オーステナイト量が25%以下であり、非常に高い硬度を有している。

【0032】そのため、初期なじみがなされた歯車においては、その歯面は、均一な接触状態が得られる形状と、均一な高硬度とを有するものとなる。それ故、本発明の歯車は、なじみ運転後において、非常に優れた耐ビッチング性を発揮する。

【0033】一方、歯車は、使用中の摩擦熱により200～500℃の環境に曝されて焼戻される。この焼戻しによって歯面の硬度、即ち浸炭層の硬度が低下した場合には、上記の優れた耐ビッチング性が損なわれる。この点において、本発明の歯車は、上記特定の成分範囲の肌焼鋼を素材として用いている。そのため、焼戻しによる軟化抵抗性に優れている。それ故、高温に曝される運転中においても歯面強度を高く維持することができ、上記の優れた耐ビッチング性を発揮することができる。

【0034】また、本発明における上記肌焼鋼は、従来の素材に比べてコスト高となるような組成変更を行っていない。また、歯車形状への成形及び浸炭処理のコストも従来と同様とすることができる。それ故、本発明においては、上記優れた耐ビッチング性の有する歯車を低コストで得ることができる。

【0035】なお、浸炭異常層自体は、例えばJIS-SCr420鋼、SCM420鋼などの従来の歯車用鋼を用いた場合においても形成することは可能ではある。しかしながら、これらの従来鋼の浸炭異常層は上記占有面積率が小さい(70%未満)。即ち、微視的に見れば、不完全焼入れ組織とマルテンサイト組織の混在する層が歯面表面に存在する状態となる。

【0036】それ故、従来鋼を用いた歯車においては、たとえ浸炭異常層を設けたとしても、良好な初期なじみ状態が得られないばかりか、残留した不完全焼入れ組織を起点としてビッチング破壊に至る場合が多い。また、同鋼のマルテンサイト組織は軟化抵抗性にも劣る。

【0037】次に、請求項2の発明のように、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、Al:0.020～0.060%、N:0.0080～0.0200%を含有していることが好ましい。これにより、歯車の強度をさらに向上させることができる。

【0038】Al:0.020～0.060%、Alは、鋼中のNと化合し、AlNとして浸炭焼入れ後の結晶粒を微細化し、靱性を向上させる効果を有する。この効果を得るためには、0.020%以上のAlを含有させる必要がある。しかし、0.060%を超えて含有させると、鋼中において過度のAl₂O₃が生成され、強度が低下するため、上限を0.060%とした。

【0039】N:0.0080～0.0200%、Nは上述の通り、Alと化合し、AlNとして結晶粒を

微細化させる。このような効果を得るためには、0.080%以上のNを含有する必要がある。一方、0.0200%を超えて含有させても、前記の効果が飽和するとともに、製鋼時にNがガス化し、鋼の製造を困難にする恐れがあるため、上限を0.0200%とした。

【0040】また、請求項3の発明のように、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、Ti:0.20%以下、Nb:0.20%以下、V:0.30%以下のうちから、1種または2種以上を含有していることが好ましい。これにより、歯車の強度をさらに高めることができる。

【0041】Ti:0.20%以下、V:0.30%以下、Nb:0.20%以下、これらの元素は、浸炭後の結晶粒を微細化するなど、靱性を向上させるとともに、疲労強度を向上させる。しかし、多量に添加しても、これらの効果が飽和するだけでなく、粗大な析出物を形成し、強度を低下させるため、上限を、Tiは0.20%、Vは0.30%、Nbは0.20%とした。なお、上記効果を十分に発揮させるため、下限は、Tiは0.01%、Vは0.03%、Nbは0.01%とすることが好ましい。

【0042】次に、請求項4の発明のように、重量比にて、C:0.10～0.30%、Si:0.50～1.50%、Mn:0.30～1.00%、Cr:0.50～2.00%、Mo:0.50%以下を含有し、かつ、 $1.5 \leq 3 \times \text{Si}(\%) - \text{Mn}(\%) + \text{Cr}(\%) / 4 + \text{Mo}(\%)$ を満足し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる組成の肌焼鋼を用い、該肌焼鋼を歯車形状に成形し、次いで、浸炭処理を行って、C濃度が0.65%以上で、かつ、残留オーステナイト量が25%以下の浸炭層を形成すると共に、該浸炭層の外層には不完全焼入れ組織よりなる浸炭異常層を形成し、かつ、該浸炭異常層の最大深さは5～40μmとすると共に、該最大深さ位置から表面までの断面における上記浸炭異常層の占める面積は70%以上とすることを特徴とする耐ビッチング性に優れた歯車の製造方法がある。

【0043】上記浸炭処理は、浸炭・焼入れ・焼戻しを含む一連の処理を指す。また、浸炭は、従来と同様の種々の処理方法を用いることができる。そして、例えばガス浸炭を行う場合には、公知のごとく、ガスのカーボンポテンシャル、温度、処理時間等を最適値に調整することにより、容易に浸炭層のC濃度を調整することができる。

【0044】また、浸炭を行ってC濃度を調整した後は、その直後又は冷却後に焼入れを行う。焼入れは、一次焼入れと二次焼入れを組み合わせて行っても良いし、直接焼入れを行っても良い。また、上記残留オーステナイト量の調整のため、焼入れ後にサブゼロ処理を行うこともできる。また、焼入れ後の焼戻しは、通常行われるように、約130～180℃において行う。

【0045】このような一連の浸炭処理を、歯車形状に成形した上記特定の成分範囲の肌焼鋼に対して行う。これにより、上記特定の浸炭層と上記特定の浸炭異常層とを有する歯車を容易に製造することができる。なお、各数値限定の限定理由は上記と同様である。

【0046】また、請求項5の発明のように、上記肌焼鋼は、上記組成に加え、さらに、 $Al:0.020\sim0.060\%$ 、 $N:0.0080\sim0.0200\%$ を含有していることが好ましい。さらに、請求項6の発明のように、上記肌焼鋼は、上記組成に加えさらに、 $Ti:0.20\%$ 以下、 $Nb:0.20\%$ 以下、 $V:0.30\%$ 以下のうちから、1種または2種以上を含有していることが好ましい。これらの場合にも上記と同様の効果が得られる。また、数値限定理由も上記と同様である。

【0047】

【発明の実施の形態】

実施形態例1

本発明の実施形態例にかかる耐ビッチング性に優れた歯車及びその製造方法につき、図1～図3を用いて説明する。本例の歯車1は、図2に示すごとく、一般的な平歯車の例である。なお、平歯車は一例であって、はすば歯車、やまば歯車、かさ歯車、ねじ歯車、ウォームギアその他の種々の歯車に適用可能である。この歯車1を製造するに当たっては、まず、後述する表2に示したA鋼を素材の肌焼鋼として準備した。

【0048】A鋼は、表2に示すごとく、 C, Si, Mn, Cr, Mo の含有量を本発明範囲内に規制すると共に Al を 0.030% 、 N を 0.0120% 加えた鋼であり、かつ、 $1.5 \leq 3 \times Si(\%) - Mn(\%) + Cr(\%) / 4 + Mo(\%)$ を満足する鋼である。

【0049】そして、A鋼を用いて歯車1を作製するに当たっては、これをまず、図2に示した形状の歯車1に切削加工により成形する。次いで、成形された歯車1を浸炭処理する。本例における浸炭処理は、ガス浸炭法を用い、具体的には図3に示すごとく行った。

【0050】即ち、まずカーボンポテンシャル(C, P)を $0.8\sim1.2\%$ に維持すると共に温度 $950^{\circ}C$ にキープしたガス雰囲気中において75分間浸炭させた後、同じく温度 $950^{\circ}C$ で若干 C, P を下げたガス雰囲気中において炭素を鋼内に拡散させる。次いで、 C, P を維持したまま温度を $850^{\circ}C$ に下げて30分間均熱処理をした後、 $130^{\circ}C$ の油に焼入れた。その後、温度 $160^{\circ}C$ 、1時間の焼戻し処理を行った。

【0051】なお、この処理条件は、鋼種等によって変更することができる。例えば最初の浸炭及び拡散の温度を $930\sim980^{\circ}C$ 、時間を $0.5\sim5$ 時間、均熱の温度を $840\sim870^{\circ}C$ 、時間を $0.5\sim2$ 時間程度の間において変更することができる。

【0052】上記浸炭処理により得られた歯車1は、図1に示すごとく、母相10の上に浸炭層12が形成さ

れ、さらにその上に浸炭異常層11が形成された表面状態となる。本例における浸炭層12は、EPMAによる分析の結果、 C 濃度が 0.70% であり、X線回折法による調査の結果、残留オーステナイト量が 2.2% となっていた。また、浸炭層12の硬度は $Hv810$ と非常に高くなった。

【0053】また、浸炭異常層11は、図1に示すごとく、その最大深さ D が $12\mu m$ であって、かつ、最大深さ位置から表面までの断面Aにおける浸炭異常層11の占める面積は 80% であった。

【0054】次に、本例の歯車1の作用につき説明する。本例の歯車1は、上記のごとく、高硬度の浸炭層12の外層に、さらに上記特定量の浸炭異常層12を設けてある。そのため、図1に示すごとく、2つの歯車1をかみ合わせて駆動することにより優れた初期なじみ性が発揮される。

【0055】即ち、歯車1においては、歯面15に生じる不均一な応力分布を緩和すべく浸炭異常層11が摩耗し、歯面15の形状が自己修正される。そして、浸炭異常層11が摩耗により除去された歯面15においては、その下層の浸炭層12が表面に露出した状態となる。

【0056】それ故、本例の歯車1は、一定の初期なじみ運転後においては、歯面15の均一な接触状態が得られて応力分布が均一となると共に、接触面が高硬度の浸炭層により構成されるようになる。これにより、従来の浸炭異常層を極力少なくする対策を施した歯車に比べて接触時の応力状態を良好にすることができ、耐ビッチング性を向上させることができる。

【0057】さらに、本例の歯車1は、上記特定組成のA鋼を素材として用いている。そのため、歯車の運転時における摩擦熱による硬度低下も少ない。それ故、本例の歯車1は、長期間の使用によっても耐ビッチング性があまり劣化せず、長寿命となる。

【0058】実施形態例2

本例は、実施形態例1のA鋼に代えて、表1に示した20種類の供試鋼を準備して歯車を作製し、その浸炭層の軟化抵抗性を定量的に評価した。各供試鋼を用いた歯車の作製は、基本的に実施形態例1と同様の製造方法によって行った。ただし、成分の違いによる焼入れ性の差異による影響を緩和するため、いずれの歯車も浸炭処理における焼戻し後において温度 $-40\sim-70^{\circ}C$ 、1時間のサブゼロ処理を実施した。

【0059】また、軟化抵抗性の評価のため、上記のサブゼロ処理後において、さらに温度 $250^{\circ}C$ 、4時間の再焼戻し処理を行った。そして、再焼戻し処理前と後の浸炭層の断面硬度を測定した。測定結果を表1及び図4に示す。また、各鋼の化学成分における次の関係式、 $3 \times Si(\%) - Mn(\%) + Cr(\%) / 4 + Mo(\%)$ の値についても表1に併記する。なお図4は、横軸に関係式の値を、縦軸に硬さ(Hv)をとり、再焼戻

し前(○)、再焼戻し後(●)の硬度をプロットしたものである。

【0060】表1及び図4より知られるごとく、いずれの供試鋼においても、再焼戻し前の浸炭層の硬度は、800Hv前後と非常に高い硬度を示した。これに対し、再焼戻し後においては、上記関係式の値が小さいほど硬度が低い傾向を示した。特に、同図に示すごとく、関係式の値が1.5未満の場合には、700Hvを切るような低い硬度まで大きく低下した。

【0061】この硬度低下と上記関係式の値との関係を明確にすべく、これを図5に示す。図5は、横軸に関係式の値を、縦軸に硬度の低下値(Hv)をとったもので*

表1

試料No.	供試鋼の化学成分(wt%)					関係式の値	浸炭層硬度(Hv)		
	C	Si	Mn	Cr	Mo		再焼戻し前	再焼戻し後	硬さ低下
1	0.19	0.29	0.49	0.49	0.00	0.50	807	682	125
2	0.19	0.29	0.45	0.52	0.45	1.00	795	692	103
3	0.21	0.32	0.48	2.02	0.00	0.99	825	700	125
4	0.20	0.30	0.47	1.98	0.48	1.41	805	694	111
5	0.20	0.30	1.02	0.52	0.00	0.01	806	671	135
6	0.20	0.31	0.99	0.51	0.45	0.52	815	694	121
7	0.19	0.29	0.95	2.05	0.00	0.43	832	712	120
8	0.21	0.30	0.98	1.97	0.45	0.86	820	703	117
9	0.19	0.52	0.44	0.53	0.00	1.25	801	691	110
10	0.19	0.49	0.46	0.45	0.44	1.56	789	686	103
11	0.19	0.50	0.52	1.99	0.00	1.48	821	718	103
12	0.20	0.50	0.51	1.89	0.46	1.92	830	740	90
13	0.20	0.52	1.01	0.55	0.00	0.69	805	700	105
14	0.20	0.51	0.99	0.56	0.51	1.19	800	692	108
15	0.19	0.49	0.96	2.00	0.00	1.01	825	707	118
16	0.21	0.49	0.92	1.97	0.48	1.52	820	722	98
17	0.20	0.95	0.48	0.52	0.00	2.50	780	710	70
18	0.20	0.97	0.49	0.53	0.49	3.04	792	717	75
19	0.21	0.95	1.01	2.06	0.00	2.36	813	730	83
20	0.21	0.92	0.98	1.89	0.50	2.75	805	730	75

【0064】実施形態例3

本例は、表2に示すごとく、実施形態例1において用いたA鋼の他に8種類(合計9種類)の供試鋼を準備し、肌焼鋼の組成、浸炭異常層の深さ等がピッチング強度等

*ある。同図より知られるごとく、関係式の値と再焼戻しによる硬度の低下値には相関関係があることがわかる。そして、関係式の値が1.5を超える場合には、再焼戻しによる硬さ低下が100Hv以下となることもわかる。

【0062】以上の結果から、上記関係式の値を1.5以上に規制した鋼を用いた本発明の歯車は、歯車使用時の摩擦熱による軟化を抑制することができ、歯車の耐ピッチング性を長期にわたって維持することができることが明確となった。

【0063】

【表1】

にどのように影響するかを定量的に評価した。まず、準備した供試鋼の化学成分の一覧を表2に示す。

【0065】

【表2】

表2

鋼種 記号	供試鋼の化学成分(wt%)										関係式 の値
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	N	Nb	Ti	V	
A	0.20	0.78	0.50	1.00	0.28	0.030	0.0120	—	—	—	2.37
B	0.19	0.75	0.48	1.10	0.25	0.032	0.0116	0.03	—	—	2.30
C	0.19	0.78	0.50	1.05	0.28	0.034	0.0150	—	0.05	—	2.38
D	0.20	0.77	0.52	1.12	0.25	0.032	0.0112	—	—	0.05	2.32
E	0.20	0.65	0.81	1.00	0.05	0.034	0.0140	—	—	—	1.44
F	0.20	0.50	0.40	0.85	0.35	0.032	0.0113	—	—	—	1.66
G	0.21	0.30	0.78	1.02	0.18	0.028	0.0095	—	—	—	0.56
H	0.19	0.65	0.80	1.30	0.20	0.029	0.0121	—	—	—	1.68
I	0.19	1.00	0.65	1.05	0.30	0.032	0.0110	—	—	—	2.91

備考) G鋼: JIS-SCM420鋼

【0066】次に、各供試鋼は、溶解、鍛伸鍛造、焼ならしを行った後に、後述する各試験用の試験片に加工し、浸炭処理を行った。浸炭処理は、後述の表3に示すごとく、浸炭層のC濃度を0.65%以上に保ちつつ、浸炭異常層の最大深さ及び占有面積率を変化させるように行った。具体的には、通常ガス浸炭を行ったものについては、実施形態例1の浸炭方法(図3)を基本とし、温度、時間、C、Pの各条件を微調整することにより行った。また、浸炭異常層を全く生成させないものについては、真空ガス浸炭処理により行った。

【0067】次に、歯車における歯面強度の評価するための代替試験として、図6、図7に示すごとく、ローラピッチング試験を行った。ローラピッチング試験は、図6、図7に示すごとく、中央部分に試験部分411を有する小ローラ41と、円盤状の大ローラ42とを用いて行う。これら小ローラ41及び大ローラ42は、同一鋼種を用いて同じ製造工程及び浸炭処理を施して作製する。

【0068】小ローラ41は、図7(a)に示すごとく、全長Lが130mmの中央部分に、幅Wが28mm、外径D₁が26mmの試験部分411を設けてなる。また、大ローラ42は、図7(b)に示すごとく、厚みTが18mm、外径D₂が130mmの円盤であって、その端部421は図7(c)に示すごとく、クラウニング半径300mmの曲面にしてある。

【0069】そして、図6に示すごとく、軸429にセットした大ローラ42の端部421と小ローラ41の試験部分411とを当接させた状態で、それぞれの周速に差をつけて回転させる。具体的には、小ローラ41の回転数を2000rpmとし、すべり率(周速差)を-40%とした。また、潤滑は油温120℃のATF(オートマチックトランスミッションフルード)により行った。

【0070】そして、小ローラ41と大ローラ42との間に一定の面圧をかけた状態で回転させてピッチング発生までの小ローラ41の総回転数を求める。これを面圧を代えて繰り返し行う。なお、ローラピッチング試験機

としては、コマツエンジニアリング(株)製のものを利用した。

【0071】そして、本例においては、小ローラ41を10⁷回以上回転させてもピッチングが発生しない面圧(10⁷回耐久面圧)をピッチング強度(MPa)として評価に用いた。試験結果を表3に示す。

【0072】表3より知られるごとく、浸炭異常層の最大深さが0のもの及び40μmを超えるもの(試料No. 1, 6, 12)については、すべてピッチング強度が1800MPa以下と低い値になった。また、浸炭異常層の最大深さが5~40μmの範囲内のものであっても、浸炭異常層の占有面積率が70%未満の場合(試料No. 3, 14)には、同じく1800MPa以下という低い値となった。逆に、浸炭異常層の占有面積率が70%以上の場合でも、上記のごとく浸炭異常層の最大深さが40μmを越える場合(試料No. 6)には、同じく1800MPa以下という低い値となった。

【0073】また、浸炭異常層の最大深さ及び占有面積率が良好であっても、鋼の成分範囲が本発明範囲外の場合(試料No. 13)、及び浸炭異常層の最大深さ及び占有面積率が良好であり、かつ、鋼の成分範囲が本発明範囲内にあっても、上述した関係式の値が1.5未満の場合(試料No. 10)については、ピッチング強度が低い結果となった。

【0074】次に、歯車の歯元強度を推定するための代替試験として、小野式回転曲げ疲労試験を行った。小野式回転曲げ疲労試験は、図8に示すとき形状の試験片5を用い、JIS-Z2274の「金属材料の回転曲げ疲れ試験方法」に準じて行った。なお、回転数は3600rpmとした。そして、本例においては、10⁷回以上回転させても破断しない曲げ応力(10⁷回耐久応力)を評価に用いた。

【0075】試験結果を表3に示す。表3により知られるごとく、試料No. 6以外のものは52Kg f/mm²以上となり良好な結果が得られた。これに対し、試料No. 6は、小野式回転曲げ強度が最も低い値となった。これは、浸炭異常層の最大深さが深すぎたためであ

ると考えられる。

*【表3】

【0076】

*

表3

試料 No.	鋼種			浸炭層		浸炭異常層		評価結果		種別	浸炭 方法
	記号 (表2)	成分 範囲	関係 式	C濃度 %	残留 γ 量 %	最大深 さ μm	占有面積 率 %	ピッチング 強度 MPa	小野式回転曲げ 強度 Kgf/mm ²		
1	A	○	○	0.75	20	0	0	1800	54	比較例	真空
2		○	○	0.79	20	8	80	2700	53	本発明	ガス
3		○	○	0.72	18	28	65	1750	54	比較例	ガス
4		○	○	0.70	22	12	80	2650	54	本発明	ガス
5		○	○	0.82	24	35	85	2700	52	本発明	ガス
6		○	○	0.80	18	45	90	1800	46	比較例	ガス
7	B	○	○	0.74	18	20	85	2800	53	本発明	ガス
8	C	○	○	0.78	20	18	85	2750	54	本発明	ガス
9	D	○	○	0.75	20	15	80	2850	54	本発明	ガス
10	E	○	×	0.82	20	18	80	1800	52	比較例	ガス
11	F	○	○	0.79	23	22	80	2600	54	本発明	ガス
12	G	×	×	0.80	24	0	0	1600	68	比較例	真空
13		×	×	0.78	20	10	80	1550	53	比較例	ガス
14		×	×	0.82	22	21	65	1500未満	52	比較例	ガス
15	H	○	○	0.72	18	16	85	2700	56	本発明	ガス
16	I	○	○	0.75	20	16	80	2650	52	本発明	ガス

【0077】以上の試験結果から、鋼の成分範囲、関係式の具備、浸炭異常層の適度な形成によって、ピッチング強度を確実に向上させることができることがわかる。また、ピッチング強度を向上できる範囲においては、小野式回転曲げ強度も良好であり、歯車における歯元強度も良好に維持することができることがわかる。

【0078】

【発明の効果】上述のごとく、本発明によれば、低コストで製造することができ、かつ、耐ピッチング性に優れた歯車及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態例1における、浸炭異常層の形成状態を示す説明図。

【図2】実施形態例1の歯車を示す説明図。

【図3】実施形態例1における、浸炭処理条件を示す説明図。

※【図4】実施形態例2における、再焼戻し前後における浸炭層の硬度を示す説明図。

【図5】実施形態例2における、再焼戻しによる硬度低下状態を示す説明図。

【図6】実施形態例3における、ローラピッチング試験方法を示す説明図。

【図7】実施形態例3における、(a)小ローラ、(b)大ローラ、(c)大ローラ端部の形状を示す説明図。

【図8】実施形態例3における、小野式回転曲げ疲労試験の試験片形状を示す説明図。

【符号の説明】

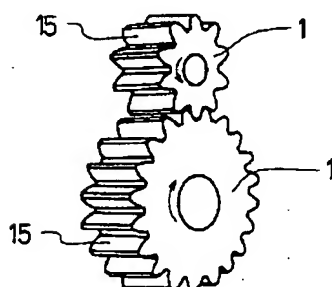
1... 歯車、

10... 母相、

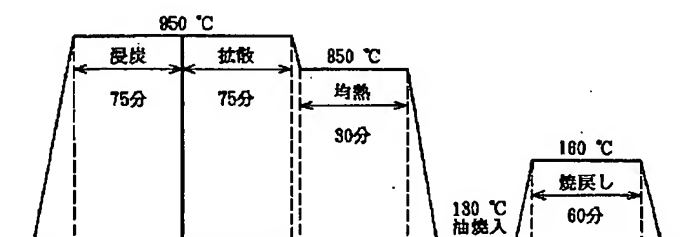
11... 浸炭異常層、

12... 浸炭層、

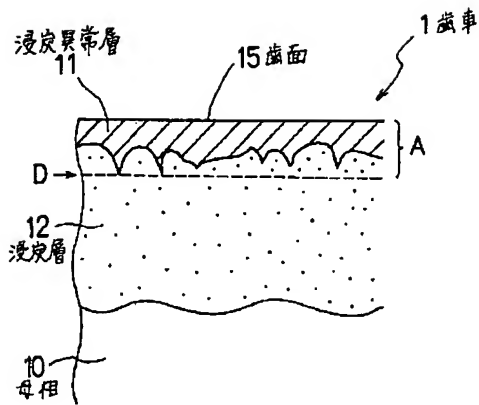
【図2】



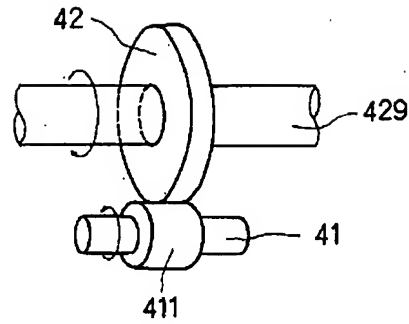
【図3】



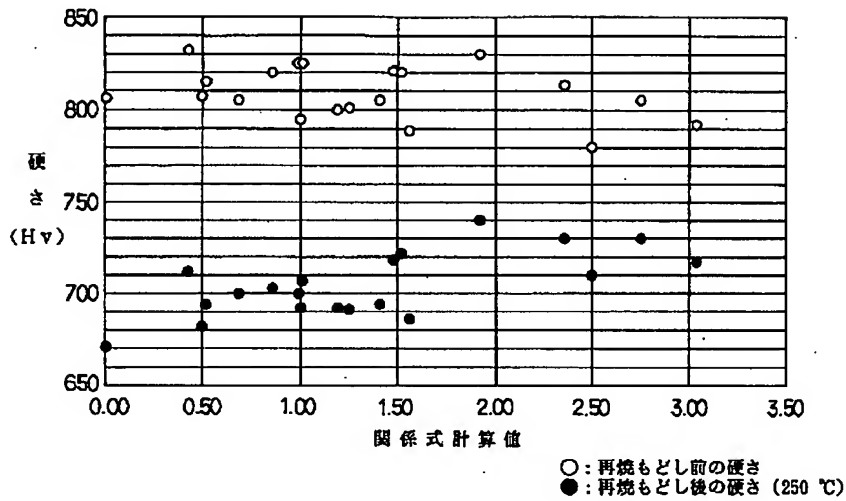
【図1】



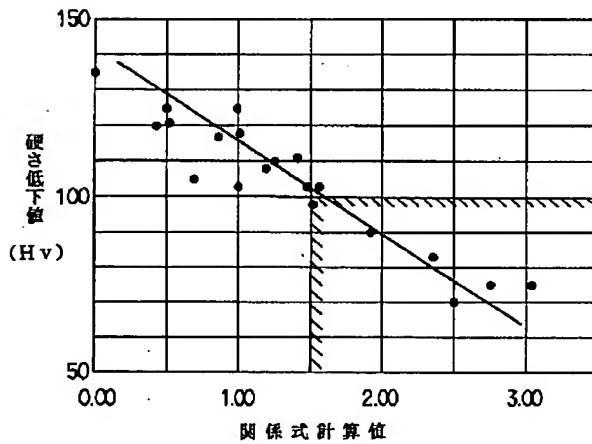
【図6】



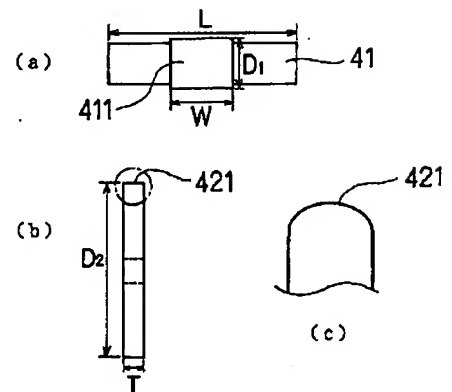
【図4】



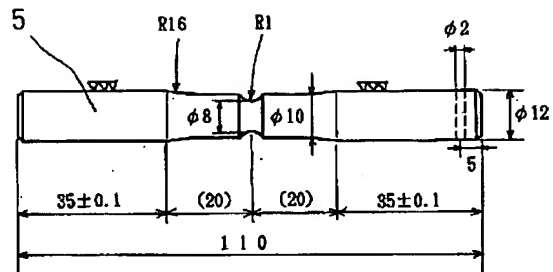
【図5】



【図7】



【図8】



(単位: mm)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

C 2 2 C 38/28

識別記号

F I

C 2 2 C 38/28

(72)発明者 松田 剛

愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地 愛知製
鋼株式会社内

(72)発明者 安田 茂

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
車株式会社内

(72)発明者 近藤 正顕

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
車株式会社内